



TITLE:

# Minimal-Disturbance Rehabilitation Technique for Improving Seismic Performance of Existing Steel Moment- Frame Buildings( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Zhang, Lei

---

CITATION:

Zhang, Lei. Minimal-Disturbance Rehabilitation Technique for Improving Seismic Performance of Existing Steel Moment-Frame Buildings. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-09-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20697>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-10-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	張 雷
論文題目	Minimal-Disturbance Rehabilitation Technique for Improving Seismic Performance of Existing Steel Moment-Frame Buildings （既存鋼骨組の耐震性能向上を目指した低負荷補強機構）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、既存建物の耐震補強として、構造的・環境的・人的負荷を著しく抑えた低負荷補強工法を開発している．低負荷耐震補強機構の力学的挙動と地震入力エネルギー吸収の仕組みを詳細に記述して、それらを準静的載荷実験に基づいて実証すると同時に、提案機構を既存建物の骨組に取り付けた際の補強効果を骨組全体の静的・動的解析により検証した．実験と解析は、低負荷耐震補強機構が骨組の脆弱箇所の変形を効果的に抑制することを明らかにした．設計法としては脆弱箇所の変形の抑制を第一目標とした方法を提案し、その妥当性と有効性を一連の骨組解析を通して検証した．本論は、平面骨組を対象とした低負荷耐震補強の提案、実大に近い試験体を用いた実証実験、局所変形の低減を志向した設計法の提案、および 2 方向地震力にも対応した補強機構の開発、を含む全 7 章から構成されている．</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と論文全体の構成を記述している．</p> <p>第 2 章では、構造的・環境的・人的負荷を著しく抑える低負荷耐震補強の枠組みを提案し、これを達成する機構として、MDAD（Minimal Disturbance Arm Damper）と名付けた軽量鋼部材から構成される耐震補強機構を提案した．MDAD は、鋼骨組において過去の地震被害が特に多い梁端部の下フランジの損傷を低減することに主眼を置いており、周辺構造部材への負担を著しく増加させない範囲で設置層の剛性と耐力を増大させ、下フランジが引張力を受ける正の曲げ変形時には梁端部の塑性回転量を直接低減することができる．MDAD の構成要素は、建物利用者の目線と通行を妨げないように取り付けることが可能であり、取り付けに溶接や重機を必要としないことは、環境的・人的負荷の抑制に対応している．</p> <p>第 3 章では、MDAD の力学的挙動を 2 分の 1 スケール試験体の準静的載荷実験と有限要素法解析を通して詳細に把握し、多層鋼骨組に適用した場合の耐震補強効果を数値解析で確認した．載荷実験としては、MDAD 単体の要素試験と十字型架構を対象とした試験の 2 種類を実施した．要素試験では、MDAD の力と変形の関係がバイリニア型の履歴挙動を示し、弾性剛性と降伏耐力が提案する設計式で予測できることを確認した．同時に、MDAD でエネルギー消費機構を担う部材の柔性や、摩擦力不足による柱への取り付け部における滑りにより、履歴挙動に若干のスリップが生じることが明らかになった．この点は、第 5 章で提案した 2 方向対応型 MDAD の提案に反映させた．十字型架構の試験では、設計で意図した通りに架構の弾性剛性と最大耐力が上昇することを確認した．多層鋼骨組を用いた数値解析では、補強により最大層間変形角が低減するだけでなく、MDAD を取り付けた梁の梁端塑性回転角も大幅に低減することを確認した．</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	張 雷
<p>第 4 章では，梁端塑性回転角の抑制を第一目標とした設計法を開発し，その妥当性と有効性を一連の骨組解析を通して検証した．塑性解析法に基づいて，骨組から抽出した部分架構における梁端塑性回転角と層間変形角および MDAD の耐力の関係式を導出し，目標とする梁端塑性回転角と地震力が与えられた場合に，MDAD の耐力を決定する設計法を構築した．地震力と層間変形角の関係については，欧州の耐震コードで参照される N2 法を利用した．パラメトリック解析では，様々な地震動と骨組の諸元に対して，構築した設計法の有用性を実証した．</p> <p>第 5 章では，立体鋼骨組を対象として，任意の水平方向に入力する地震動に対する補強を目的とした 2 方向対応型の biMDAD を開発した．直交する 2 台の水平ジャッキを利用した準静的載荷ならびに振動台を利用した動的載荷により，biMDAD の要素挙動を検証した．標準的な梁スパンにおいては，バイリニア型の安定した履歴挙動が得られること，速度依存性がないことを確認した．さらに，構成要素が破断するまでの多数回繰り返し載荷試験により，MDAD および biMDAD が卓越した繰り返し変形性能を有することを実証した．</p> <p>第 6 章では，多層立体鋼骨組を用いた非線形変位漸増解析および地震応答数値解析により，biMDAD の一方向 MDAD を 2 方向に設置した場合に対する有用性を定量的に評価した．biMDAD は物理的に占有する空間を小さく，また短時間で骨組の水平 2 方向耐震補強を可能にする．補強層における平面計画を変化させた数値解析では，biMDAD が MDAD に対して費用対効果に優れていることが示された．</p> <p>第 7 章は結論であり，本論文で得られた成果を要約している．</p>			

**(論文審査の結果の要旨)**

過去の地震被害や実大建物の実験結果から、鋼骨組に特徴的な地震被害として、梁端部への塑性変形集中とそれに起因する破断が挙げられる。耐震性能が不足している鋼骨組に対しては、ブレースや耐震壁による補強が一般的であるが、その多くが現場での溶接や重機の使用を必要とするため、補強工事中の事業継続性は低い。さらに、補強材の取り付けによって開口部における視野や通行が妨げられ、建築計画の変更が必要となることも多い。建物利用者や既存骨組にかかる負荷を抑える目的で、小型で軽量の部材を組み合わせた耐震補強法を提案した本研究は、次の点で際立っている。

- (1) 軽量引張鋼棒と鋼板を組み合わせた低負荷耐震補強機構を提案した。同機構の特徴として、1) 梁下フランジが引張を受ける正曲げ時の曲げモーメント低減による梁端部変形能力の向上、2) 繰り返し変形下での安定したエネルギー消費能力、3) 既存部材への追加加工を最小限に留めた接合詳細、4) 視界や通行の妨げを最小限とした補強材の配置計画、が挙げられる。
- (2) 有限要素解析と準静的載荷実験により、同機構単体での要素レベルの耐震性能を確認した。地震力を模擬した水平 1 方向繰り返し載荷時において、提案した補強法でバイリニア型の安定した履歴挙動が得られることを確認した。
- (3) 4 層平面鋼骨組の地震応答解析により、同機構が骨組の層間変形角だけでなく、より局所的な梁端部の塑性回転角を低減することを明らかにした。
- (4) 同機構の梁端部塑性回転角の抑制効果を陽に考慮するために、その回転角を直接的な目標とする補強機構の設計法を提案した。部分架構モデルを用いて、目標とする層間変形角と梁端塑性回転角に対して同機構の耐力を簡潔に導く設計式を構築し、非線形変位増分解析と時刻歴応答解析を通して、同設計法の有効性を確認した。
- (5) 同機構を水平 2 方向の地震力に対応できるように拡張し、準静的 2 方向載荷実験と振動台実験から、載荷速度に依らず安定した履歴挙動が得られることを確認した。また立体骨組の地震応答解析によって、2 方向に拡張した補強機構の有用性を確認した。

以上、耐震補強における負荷を低減する軽量鋼部材を組み合わせた補強法を提案し、基本性能と実用性を検討した本論文は、震災に対する鋼構造建物の安全性向上という命題に対して、実現可能かつ有益なひとつの解を提供している。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 8 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。